

En studie av Lundellska skolan – energikartläggning, energieffektivisering och dimensionering av solcellsanläggning

*A study of Lundellska skolan
– energy survey with suggestions for increased efficiency and
sizing of PV systems at a secondary school*

Sophia Appelstål, Wilma Falk, Anton Gustafsson, Lovisa
Gustafsson, Niklas Hedlund, Tobias Klockare, Simon Nordén,
Johan Skrealid och Cristina Stoltz

Kandidatuppsats i teknik

Civilingenjörsprogrammet i energisystem

Examensarbete 2017:08
ISSN 1654-9392
Uppsala 2017

En studie av Lundellska skolan – energikartläggning, energieffektivisering och dimensionering av solcellsanläggning

A study of Lundellska skolan

- energy survey with suggestions for increased efficiency and sizing of PV systems at a secondary school

Sophia Appelstål, Wilma Falk, Anton Gustafsson, Lovisa Gustafsson, Niklas Hedlund, Tobias Klockare, Simon Nordén, Johan Skrealid och Cristina Stoltz

Handledare: Gunnar Larsson, institutionen för energi och teknik, SLU

Examinator: Sven Smårs, institutionen för energi och teknik, SLU

Omfattning: 15 hp

Nivå, fördjupning och ämne: Grundnivå, G2E, teknik

Kurstitel: Självständigt arbete i energisystem

Kurskod: EX0759

Program/utbildning: Civilingenjörsprogrammet i energisystem 300 hp

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2017

Serietitel: Examensarbete (Institutionen för energi och teknik, SLU)

Delnummer i serien: 2017:08

ISSN: 1654-9392

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: totalmetodik, fotovoltaiska system, Simulink, PVsyst, Green Building Certifikat, styr- och reglersystem, energibesparing

**Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences**

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för energi och teknik

Sammanfattning

Lundellska skolan är en gymnasieskola i Uppsala, belägen i utkanten av Ulleråker. Fastigheten färdigställdes år 1986 och är idag en verksamhet för ca 1150 studenter och 148 anställda. Sedan årsskiftet 2016/2017 förvaltas Lundellska skolan av Skolfastigheter AB, ett kommunalt fastighetsbolag i Uppsala kommun. Skolfastigheter AB har som vision att erbjuda trygga och hållbara läromiljöer och har i samråd med STUNS Energi utformat ett projekt riktat till studenter för att undersöka hur skolans energiförbrukningen kan förbättras. Därav innefattar projektet en energikartläggning av Lundellska skolan varefter energieffektiviserade åtgärder tas fram och en solcellsanläggning dimensioneras. I samband med planer om byggnation av en matsal undersöktes möjligheterna till byggnadsintegrerande solceller för denna byggnader.

Skolan förbrukar i dagsläget under ett normalår 894 MWh fjärrvärme och 580 MWh elkraft. Genom att genomföra styrtekniska åtgärder för ventilation, belysning och komfortkyla samt att byta nuvarande fönster till energifönster skulle skolans energiförbrukning minska till 712 MWh, en energibesparing på 764 MWh/år. Med föreslagna energieffektiviseringar får skolan en specifik energiförbrukning på $86 \text{ kWh/m}^2 A_{temp}$ vilket är inom ramarna för Boverkets definition av en nybyggd lokal. Solcellsanläggningen dimensionerades att matcha skolans elbehov och samtidigt hålla nere återbetalningstiden. Anläggningen dimensionerades för att maximal elproduktion skulle uppnås utan att extra avgifter som tillkommer vid större anläggningar skulle uppstå. Den optimala storleken på solcellsanläggningen bedömdes ha en total effekt på 61 kW_p .

Abstract

Lundellska skolan Skrapan is an upper secondary school located in the Ulleråker district in Uppsala, Sweden. The building was completed in 1986 and houses approximately 1150 students and a staff of 148 members. Obtained by Skolfastigheter AB by the end of the year of 2016, the company initiated a planning phase for a renovation. Together with STUNS (the foundation for collaboration between Uppsala's universities, enterprises and society) a project aimed at assessing which efficiency measures would be best suited for implementation, considering sustainability and affordability, was started. The main components being energy mapping, compiling possible energy efficiency measures, creating a model of and simulating the building's use of energy, as well as suggesting an appropriately dimensioned photovoltaic system for the facility. The field of building integrated photovoltaic systems (BIPV) was examined to be able to present a perspective of the possibilities other than a roof based building applied system, should Skolfastigheter AB plan to construct a new school dining hall.

The building's total energy consumption consisted of 894 MWh in district heating and 580 MWh from use of electricity. By introducing lighting-, ventilation- and comfort cooling control systems, as well as replacing old windows, the buildings energy consumption could be reduced to 712 MWh, a reduction of 764 MWh/year. Which would bring the building below the requirements the *Swedish national board of housing and planning (boverket)* has set as a standard for newly constructed buildings. The scale of the photovoltaic system was based upon two parameters, matching the building's needs while at the same time keeping the payback period as short as possible. The optimal solution was found to be spreading the photovoltaic system across three available south sloping roofs would, accruing a total effect of 61 kW_p .

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Frågeställningar	1
2	Metod	2
2.1	Datainsamling	2
2.2	Antaganden och avgränsningar	2
2.3	Elpris	3
2.4	Modellering värmesystem	4
2.5	Modellering av elförbrukning	5
2.6	Solcellsdimensionering	6
2.6.1	Simulering av olika scenarier	6
2.6.2	Ekonomiska beräkningar	6
3	Resultat	7
3.1	Energikartläggning	7
3.1.1	Klimatskal	7
3.1.2	Värme och ventilation	7
3.1.3	Värmebalans	8
3.1.4	Elförbrukning	9
3.2	Energieffektivisering	9
3.2.1	Sammanställning av åtgärder	10
3.3	Byggnadsintegrerade solceller	11
3.4	Solcellsdimensionering	11
3.5	Ekonomi	12
3.5.1	Elpris och Fjärrvärmepris	12
3.5.2	Totalkostnader	12
4	Diskussion	13
4.1	Datainsamling	13
4.2	Energieffektivisering	14
4.3	Validering	14
4.4	Elpris	15
4.5	Solcellsdimensionering	15
5	Slutsats	15
	Referenser	16

1 Inledning

Enligt statistik från Energimyndigheten stod sektorn *bostäder och service* för ca 40 % av Sveriges totala energianvändning år 2014 (Energimyndigheten 2017b). Att sänka energianvändningen inom denna sektor är därför avgörande för att sänka Sveriges totala energibehov. Inför stundande renovering av Lundellska skolan undersöktes möjligheterna att energieffektivisera byggnaden samt potentialen för att installera en solcellsanläggning.

1.1 Bakgrund

Lundellska skolan Skrapan är en gymnasieskola i Uppsala, belägen nära Kungsängsbron i utkanten av Ulleråker. Byggnaden färdigställdes år 1986 och lokalerna utgörs av undervisningssalar, laborationssalar, kontor och uppehållsrum. Dessa brukas av ungefär 1150 studenter och 148 tjänster (Lundin 2017). I byggnaden bedrivs endast undervisning, vilket innebär att lokalerna står tomma när skolverksamheten har uppehåll. Skolbyggnadens huvudbyggnad har ingen egen gymnastiksal eller matsal.

Vid årsskiftet 2016/2017 övertog Skolfastigheter AB fastigheten vilka har som avsikt att renovera skolan för att bland annat uppnå en mer hållbar energiförbrukning. Vidare finns planer om att bygga ny matsal och idrottshall till gymnasieskolan. Skolfastigheter AB är ett kommunalt fastighetsbolag i Uppsala kommun som bildades år 2013 och äger runt 140 av Uppsalas undervisningslokaler. Skolfastigheter AB skriver på sin hemsida att de har som vision att bli ”bäst i klassen på trygga och hållbara lärmiljöer” (Skolfastigheter AB 2017). Skolans energianvändning är efter normalårskorrigerig 894 MWh fjärrvärme samt 580 MWh elkraft för år 2016. Lundellska skolan har i dagsläget en specifik energianvändning på $168,7 \text{ kWh/m}^2 A_{temp}$ och år¹. Enligt Boverkets byggregler ska en nybyggd lokals specifika energianvändning vara mindre än $90 \text{ kWh/m}^2 A_{temp}$ och år (Boverket 2016).

Skolfastigheter AB är medlem i Sweden Green Building Council (SGBC), en samarbetsorganisation som jobbar för ett mer hållbart samhälle genom att certifiera fastigheter, bland annat genom sitt Green Building Certificate, (Sweden Green Building Council 2017b). För att få ansöka om Green Building Certificate måste fastighetens energianvändning minska med 25 % jämfört med ett referensår som resultat av energieffektiviserande åtgärder (Sweden Green Building Council 2017a).

1.2 Syfte

Projektets huvudsyfte är att presentera ett energieffektiviserande åtgärds paket. Åtgärds paketet ska bygga på en energikartläggning som görs under projektets gång och ska bland annat innehålla förslag på en lämpligt dimensionerad solcellsanläggning. Åtgärds paketet ska även innehålla en kostnads kalkyl över återbetalningstid och total investeringskostnad.

1.3 Frågeställningar

- Vilka lämpliga energieffektiviserande åtgärder skulle kunna genomföras?
- Vilka dimensioner på en solcellsanläggning skulle vara optimala i ett energi- och kostnads perspektiv?
- Finns det möjlighet att ansöka om miljöcertifikat efter genomförd renovering?

¹Invändig area av byggnaden som värms upp till mer än 10 °C (Abel m. fl. 2016)

2 Metod

I arbetsgången kartlades först energiförbrukningen, därefter effektiviserades skolan och till sist dimensionerades solcellsanläggningen. Metodiken som användes för energieffektiviseringen av byggnaden var Totalmetodiken, en metod framtagen av BELOK (beställargruppen för lokaler) i syfte att kunna bedöma lönsamheten av olika energieffektiviserande åtgärder för byggnader. Metoden bygger på att först systematiskt energikartlägga fastigheten varefter man undersöker tänkbara energiåtgärders investeringskostnader och årliga kostnadsbesparingar. En central del är att kvalitén och funktionen hos byggnaden bör bevaras eller förbättras då det framförallt rör sig om effektiviserande åtgärder. (Abel m. fl. 2016).

2.1 Datainsamling

Information om skolans klimatskal erhöles från ritningarna över fastigheten som utfärdades av Uppsalas landsting. Information om fastighetens storlek och klimatskal har utlästs ur dessa. En energideklaration från år 2009 laddades ner från Boverkets hemsida och användes för att validera de resultat som simuleringarna gav.

En obligatorisk ventilationskontroll (OVK) från 2016 erhöles från Skolfastigheter AB tillsammans med skolans elektriska energiförbrukning. OVK:n användes i kombination med utförda mätningar för att beräkna ventilationens temperaturverkningsgrad. Den elektriska energiförbrukningen användes för att kalibrera de resultat som modellen gav. Fastighetens totala fjärrvärmeanvändning, inklusive närliggande radhus med studentbostäder som drar sin fjärrvärme från skolan, erhöles från Vattenfalls hemsida under "Mina sidor" på kommunens inloggning. Vid beräkningar för hur stor del av den totala fjärrvärmeanvändningen som nyttjades av intilliggande radhus gjordes grova beräkningar med hänsyn till totala bostadsytan eftersom sådan information saknades.

Besök på skolan genomfördes vid flera tillfällen under perioden mars - maj. Data som samlades in från skolan var information om olika typer av tekniska system, märkeffekter på olika maskiner, vilken typ av belysning som fanns, samt observationer om skolans inomhusklimat. En värmekamera användes för att se hur energiflöden rör sig genom klimatskalet. Närliggande trädss position i förhållande till skolan mättes ut och deras höjd uppskattades. Mätningar gjordes även för att verifiera takets storlek då ritningar för detta saknades. Klimatdata för solcellsdimensioneringen samlades in genom att kontakta Institutionen för växtproduktionsekologi på Sveriges Lantbruksuniversitet som bifogade data från Ultuna väderstation.

En litteraturstudie gjordes för att undersöka marknaden av byggnadsintegrerade solcellslösningar och möjligheterna för Skolfastigheter AB att använda denna teknik i samband med renovering eller konstruktionen av ny matsal.

2.2 Antaganden och avgränsningar

Projektet har begränsats till huvudbyggnaden. Det innebär att skolans gymnastiksal, belägen i närheten, och den planerade matsalen inte ingår i beräkningarna. För modelleringen av skolans värmebalans, elförbrukning samt i dimensionering av solcellsanläggningen har vissa antaganden och begränsningar gjorts.

Skolans värmebalans har endast simulerats för år 2016 då det för detta år fanns tillgänglig förbrukningsdata av fjärrvärme att validera mot. Skolbyggnadens värmekapacitet togs fram

med modellenpassning då alternativa metoder hade varit för arbetskrävande för projektets ramar. I delsystemet för transmissionsförlusterna antogs värmeförlusten genom golvet ske via en temperaturgradient motsvarande skillnaden mellan inom- och utomhustemperatur. Detta är en förenkling då markens temperatur kan avvika från rådande utomhustemperatur. I modelleringen av ventilationsförlusten exkluderas faktumet att utomhusluft läcker in och ut genom klimatskalet, något som kallas oavsiktlig ventilation. För den totala ventilationsförlusten applicerades den uppmätta temperaturverkningsgraden på ett av ventilationsaggregaten på samtliga aggregat. Vad gäller intern genererad värme antogs bidraget från elektriska apparater vara försumbart. Däremot modelleras värmetillskott från belysningen.

Lundellska skolans takyta beräknades utifrån husets bottenarea och höjdmått från ritningar samt utvändiga mätningar. Utifrån detta togs en möjlig yta för solceller fram. Ytterligare en avgränsning som gjorts för solcellsanläggningen är att inte räkna med bytet av växelriktare som vanligen sker efter ca 15 år (Lindahl 2016). Priserna i rapporten är genomsnittspriser vid installation av anläggningen och tar då inte hänsyn till de olika delarnas livslängd.

Elförbrukningen antogs vara oberoende av temperatur och graddagskorrigerades därför inte. För att modellera byggnadens elförbrukning gjordes ett antal antaganden för att simplificera modellen. En viktig parameter för modelleringen är vilken tid som skolan används, det vill säga när och hur länge elever och personal vistas i byggnaden. Det antogs att eleverna var på plats vardagar 08:00 - 16:00 och personal 08:00 - 18:00.

Alla ekonomiska beräkningar i rapporten har gjorts exklusive moms. Eftersom att Skolfastigheter AB är ett kommunalt bolag som endast hyr ut Lundellska skolan till kommunala verksamheter har de rätten att få tillbaka betalad moms på alla investeringar i fastigheten (Ardakani 2017).

2.3 Elpris

Elpriset beräknades timvis för ett år med data ifrån år 2016. De kostnader som ingår i elpriset är spotpris, elskatt, elcertifikat, elnätsavgift samt spotpris-påslag. Spotpriset är ett rörligt pris som bestäms av NordPool (NordPool 2017). Elskatten är en fast skatt som ligger på 29,5 öre/kWh (Skatteverket 2017). Även spotpris-påslagen är en fast avgift som beräknas till 3 öre/kWh (Vattenfall AB). Elcertifikats funktion är att den som producerar egen förnybar el tilldelas ett elcertifikat per producerad MWh från staten, detta kan säljas som en extra inkomst. Kvotpliktiga² måste köpa elcertifikat motsvarande en viss kvot om sin egen elanvändning. Kvoten ökar varje år och är 24,7 % år 2017 (Energimyndigheten 2016). Bixia har gjort en prognos där de menar att spotpriset kommer att öka från dagens nivåer till 35 öre/kWh år 2035 (Bixia 2016).

Elnätsavgiftavtalet Uppsala kommun har med Vattenfall innehåller fast avgift på 365 kr/månad, månadseffektavgift på 40 kr/kW, överföringsavgift högstprisid för 52,4 öre/kWh samt överföringsavgift lågstprisid för 14 öre/kWh. Högstprisid sker mellan 06-22 vardag i november till mars. All annan tid är lågstprisid.

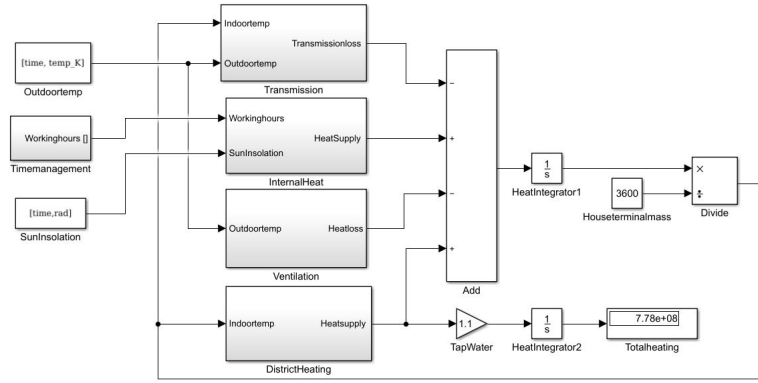
²Elleverantörer, elanvändare som använder över 60 MWh elkraft som de själva producerat, elanvändare som importerar eller köper elkraft på den nordiska elbörsen samt elintensiva industrier som har registrerats av Energimyndigheten

2.4 Modellering värmesystem

För att simulera skolans värmesystem före och efter de energieffektiviserande åtgärderna användes en egen modell av byggnadens värmebalans. Modellen ställdes upp i Simulink, en programvara som är integrerad med Matlab och som används för att modellera och simulera dynamiska system. För båda Simulinkmodellernas integrerande delar användes lösningsekvationen ODE3, vilket är tredje ordningens Runge-Kuttametod.

Värmebalansen tar hänsyn till värmen som bortförs respektive tillförs byggnaden. För den bortförda värmen beaktas transmissions- och ventilationsförluster. Byggnaden tillförs värme genom intern genererad värme, solinstrålning och fjärrvärmeförsörjning (Warfvinge och Dahlblom 2010). Modellen tar hänsyn till samtliga tre delar för värmeförsörjningen. Varje del i värmebalansen representeras av ett delsystem, se figur 1. Inparametrar till modellen är utomhustemperaturen, direkt solinstrålning för Uppsala år 2016 samt verksamhetens drifttider "Workinghours" (Sveby 2017). Verksamhetens drifttider definieras som 9 timmar per veckodag, mellan kl 8-17, där helgdagar och sommarledighet under juli tas hänsyn till (Appelstål, Falk, Gustafsson, Hedlund m. fl. 2017). Modellen utgör ett återkopplat system där värmeenergin varje timme divideras med byggnadens termiska massa som ger inomhustemperaturen på timbasis vilken i sin tur är en inparameter till två av delsystemen.

Den totala transmissionsförlusten är summan av värmeförlusten genom varje byggnadsdel i klimatskalet (golv, vindsbjälklag, väggar, fönster etc). Hur stor värmeförlusten blir för en byggnadsdel avgörs av dess värmegenomgångskoefficient (U-värde), area och temperaturskillnaden mellan ute- och inomhustemperatur. Ventilationsförlusten svarar mot luftvärmarnas förbrukade värmeeffekt vid uppvärmning av uteluften till tilluftstemperatur. Modelleringen av den totala ventilationförlusten bygger i huvudsak på varje ventilationsaggregats tilluftsflöde hämtad från OVK:n och temperaturverkningsgrad. En egen mätning på ett av ventilationsaggregaten gav temperaturverkningsgrad på tilluften vilken har applicerats på samtliga aggregat. Den uppmätta temperaturverkningsgraden var 82% Det internt generade värmetillskottet från belysning och människor simuleras i ett eget delsystem. I detta delsystem simuleras även värmen som tillförs skolan via solinstrålningen. Ytterligare ett delsystem sattes upp för fjärrvärmeförbrukningen. Det modelleras att fjärrvärmeanvändning endast sker när inomhustemperaturen är lägre än 21 °C (Appelstål, Falk, Gustafson m. fl. 2017). Den totala fjärrvärmeförbrukningen fås via en förstärkning med faktorn 1,1 då varmvattenberedningen stod för 10 % av den totala fjärrvärmeförbrukningen år 2016 (Appelstål, Falk, Gustafsson, Hedlund m. fl. 2017). För att validera modellen jämfördes simulerad fjärrvärmeförbrukning med faktisk förbrukning för 2016. Vidare gjordes en känslighetsanalys för att undersöka hur modellen påverkas av dess olika ingående parametrar (Appelstål, Falk, Gustafson m. fl. 2017).

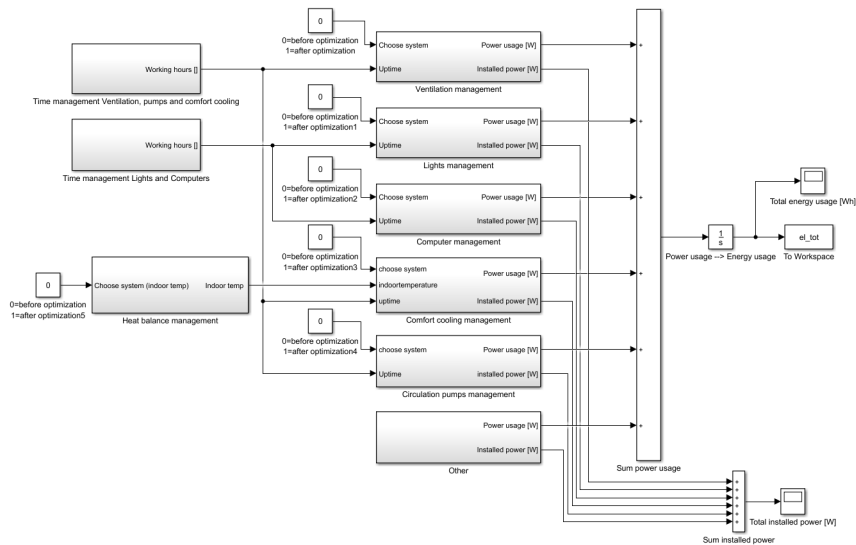


Figur 1: Modell över värmebalansen (Appelstål, Falk, Gustafson m. fl. 2017).

2.5 Modellering av elförbrukning

För modellering av byggnadens elektriska system identifierades sex olika kategorier som ansågs ha betydande inverkan på byggnadens elförbrukning. De bestod av ventilationsaggregat, belysning, datorer, komfortkyla, pumpar och övrig förbrukning. Viktigt för modelleringen var märkeffekten för de olika komponenterna samt drifttid. Modellen simuleras timvis och ger därmed byggnadens timvisa effektanvändning, denna integreras sedan över ett utvalt tidsintervall, för att få ut timvis energiförbrukning. Andra parametrar som modellen tar hänsyn till är solinstrålning och inomhustemperatur. Syftet med modellen är att med givna parametrar kunna kartlägga den elektriska energiförbrukningen under ett genomsnittsår. Modellen byggdes sedan upp och simulerades i Simulink. Från simulering erhöles timbaserad elektrisk effekt och energi.

För att validera modellen jämfördes det simulerade resultatet med faktisk förbrukningsdata som erhöles från Skolfastigheter AB. Om det simulerade resultatet avviker med mindre än 10 % från det faktiska värdet kan modellen anses vara pålitlig (Abel m. fl. 2016). Modellen kan ses i figur 2, där syns sex olika delsystem som hanterar de olika kategorierna som nämns ovan.



Figur 2: Modell över skolans elektriska system (Appelstål, Falk, Gustafson m. fl. 2017).

2.6 Solcellsdimensionering

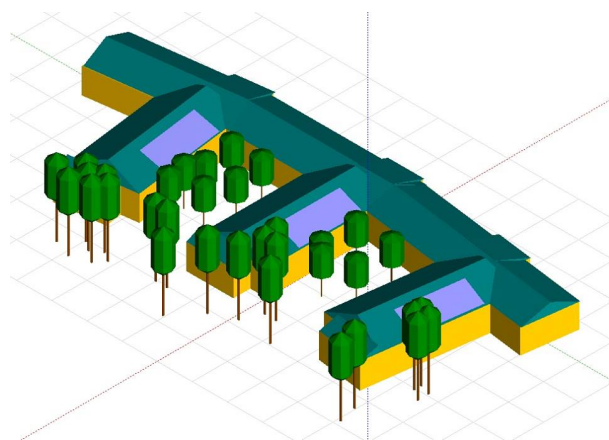
Dimensioneringen av solcellsanläggningen bestod av två delmoment, simuleringar av olika scenarier och lönsamhetskalkyler. Programvaran PVsyst valdes på grund av att det är en etablerad programvara och används för komplicerade simuleringar av solcellsanläggningar. Lönsamhetskalkylerna för respektive scenarier gjordes med hjälp av programvaran MATLAB.

2.6.1 Simulering av olika scenarier

Solcellers elproduktion påverkas av faktorer som solinstrålning, temperatur och läge. Dessa parametrar låg till grund för simuleringarna i PVsyst. Klimatdata användes i form av ett medelvärde av månadsmedelsolinstrålning och månadsmedeltemperatur insamlat mellan åren 1963 och 2014, från en väderstation i Ultuna, Uppsala. De tak som ansågs relevanta för simuleringarna var byggnadens tre söderriktade tak eftersom maximal solinstrålning ges inom ett azimutintervall på $\pm 30^\circ$ (Lingfors och Widén 2014). Alla tre tak har en lutning på 22° och en azimut på $\pm 7.5^\circ$ (Landstinget 1999), dessa värden angavs för modulinstallationerna då de antogs monteras direkt på taken. I simuleringarna användes moduler med en effekt på $320 W_p$ ³ från företaget Jinko Solar och växelriktare från SolarEdge på grund av att dessa används i Vattenfall AB:s prisförslag (Vattenfall AB 2017). I PVsyst byggdes en 3D-modell av skolan utifrån byggnadsritningar samt de uppmätta träden, se figur 3. Modellen användes för att beräkna skuggningsförlusterna hos systemet. Totalt utfördes sex olika simuleringar där mängden installerad effekt och skuggning ändrades.

2.6.2 Ekonomiska beräkningar

För att göra lönsamhetskalkyler användes MATLAB, en programvara och programmeringsspråk som används främst för matematiska och tekniska beräkningar. De tre olika parametrarna som beräknades var återbetalningstid, årlig besparing och egentäckningsgrad. Det anses vara mer ekonomiskt gynnsamt att matcha elproduktionen med lastprofilen. Detta på grund av att en användare betalar ett högre pris för köpt elkraft än vad som fås vid försäljning. Inparametrarna i systemet var elproduktionen från PVsyst, lastprofilen och diverse kostnader så som elpriset, elcertifikatspriset och kostnad per installerad watt. En faktor som togs hänsyn till var det nuvarande certifikatsystemet. En anläggning blir kvotpliktig ifall den har en installerad effekt på $50 kW_p$ och fastigheten använder mer än $60 MWh$ egenproducerad elkraft (SFS 2011:1200). I relation till andra kostnader kan elcertifikatens kostnad anses vara relativt låg, men det kan vara värt att ta i akt ifall en anläggning ligger precis på gränsen till kraven.



Figur 3: Skuggningsmodell av Lundellska skolan i PVsyst (Stoltz 2017)

³Effekten som produceras vid en solinstrålning $1000 W/m^2$, en celltemperatur på $25^\circ C$ och en luftmassa på 1.5 (AM1.5).

3 Resultat

3.1 Energikartläggning

Inventeringen av skolans klimatskal, värme- och ventilationssystem samt elektriska utrustning gav förutom ett underlag till de framtagna energibesparande åtgärderna en värmebalans.

3.1.1 Klimatskal

Informationen om klimatskalets uppbyggnad, från relationsritningarna, resulterade i U-värden och en areafördelning som visas i tabell 1. Skolan har totalt ca 420 fönster, ett bibliotek med stora fönsterpartier samt glasdörrar, samtliga 2-glasfönster och som antagits ha samma U-värde. Byggnaden har en ouppvärmad vind vilket betyder att värmeläckaget sker via vindsbjälklaget. Väggarna har en stomme av BTG, en typ av lättbetong, som även golvet främst är uppbyggt av (Landstinget 1986).

Tabell 1: Byggnadsdelarnas egenskaper (Appelstål, Falk, Gustafsson, Hedlund m. fl. 2017)

Byggnadsdel	Area [m^2]	Värmegenomgångskoefficient, U [W/m^2K]
Väggar	2440	0,149
Dörrar	10	2,800
Fönster	660	2,800
Vindsbjälklag	1780	0,195
Källargolv	1960	0,640

Inom transmissionsförlusterna står fönstren för den största andelen och motsvarar 31 % av skolbyggnadens totala värmeförlust, se figur 5. Det höga U-värdet hos fönsterna medför märkbara värmeförluster genom klimatskalet, något som värmefotografering av bibliotekets fönsterpartier kunde påvisa, se figur 4.

3.1.2 Värme och ventilation

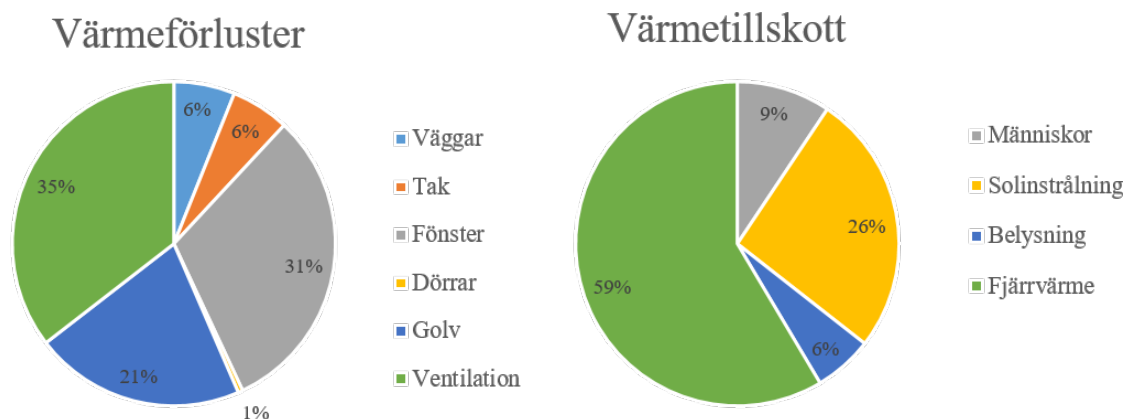
Skolan värms upp av fjärrvärme från Vattenfall AB via ett vattenburet radiatorsystem. Ventilationssystemet är av typen FTX vilken innebär att ventilationsaggregaten har till- och frånluftsfläktar samt värmeväxlare som i detta fall är roterande. På det sättet sker värmeåtervinning av den varma frånluften. Värmeåtervinningens temperaturverkningsgrad har uppmätts till 82 % för tilluften och 81 % för frånluften, på ett av ventilationsaggregaten (Appelstål, Falk, Gustafsson, Hedlund m. fl. 2017). Den tidkanal som en gång i tiden styrde ventilationen via programmerade drifttimmar för respektive ventilationsaggregat är riven. I dag sker styrningen av ventilationen manuellt och ventilationen är igång dygnet runt. Därför används ventilationen lika mycket under sommarhalvåret som under resten av året.



Figur 4: Värmefotografi av Lundellska skolans bibliotek (Klockare, 2017)

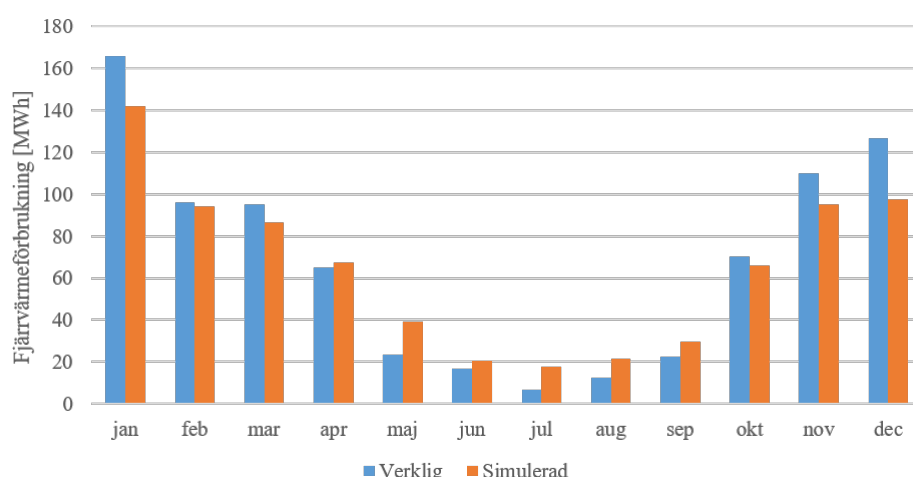
3.1.3 Värmebalans

Lundellska skolans värmebalans bestod av en total värmeförlust på 1254 *MWh* och ett värmekost på 1328 *MWh* vid simulering av året 2016. Värmeförlustens fördelning, mellan ventilationsförlust och transmissionsförluster specifikt för olika delar i klimatskalet, visas i figur 5. Här presenteras även skolans värmekost uppdelat i fjärrvärmeförsel och internt genererad värme. Det kan konstateras att av värmeförlusten står ventilationen och fönstren för de största delarna.



Figur 5: Lundellska skolans simulerade värmebalans år 2016 innefattar en total värmeförlust på 1254 *MWh* och ett värmekost på 1328 *MWh*.

Fjärrvärmeförbrukningen simulerades för år 2016 via modellen av skolans värmebalans. Genom databehandling av timdata erhöles månadsvis fjärrvärmeförbrukning, se figur 6. De simulerade värdena jämfördes med den verkliga fjärrvärmeförbrukningen för skolan under år 2016 för att validera modellen, se figur 6. Den totala simulerade fjärrvärmeförbrukningen var 780 *MWh* räknat för 2016, en skillnad på 4 % jämfört med verklig fjärrvärmeförbrukning för samma år. Känslighetsanalysen visade att husets termiska massa är den parameter som har störst påverkan på resultatet (Appelstål, Falk, Gustafson m. fl. 2017).



Figur 6: Validering av den simulerade fjärrvärmeförbrukning för år 2016.

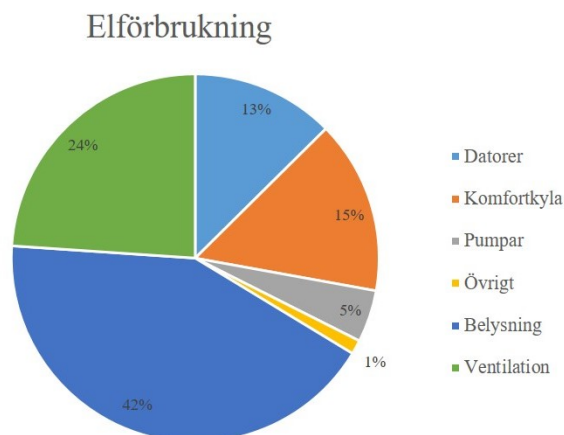
3.1.4 Elförbrukning

Vid kartläggningen av skolans elförbrukning identifierades märkeffekter och drifttimmar för ventilationsaggregat, belysning, datorer, komfortkyla, pumpar och övrigt. Belysningen bestod till största del av LED-lampor och lysrör men även av enstaka glödlampor. Belysningen styrdes tidigare via en tidkanal men efter att styrcentralen revs står belysningen nu på dygnet runt. Den totala installerade effekten för belysningen är 56 kW (Appelstål, Falk, Gustafsson, Hedlund m. fl. 2017).

Lundellska skolan har 8 stycken elektriska kylningsaggregat. Tre av dessa aggregat står på dygnet runt

medan resterande endast är påslagna när inomhustemperaturen överstiger 21 °C (Appelstål, Falk, Gustafson m. fl. 2017).

Den simulerade elanvändningen blev 620 MWh och var fördelad enligt figur 7. Jämfört med den verkliga förbrukningen var den simulerade 6 % högre (Appelstål, Falk, Gustafson m. fl. 2017). Simuleringen visade att belysningen och ventilationen förbrukade mest elkraft. En genomförd känslighetsanalys bekräftade detta då drifttiderna för ventilation och belysning samt olika antaganden för datorer hade störst inverkan på modellen (Appelstål, Falk, Gustafson m. fl. 2017).



Figur 7: Lundellska skolans simulerade elförbrukning år 2016 var 620 MWh

3.2 Energieffektivisering

Avgörande för ventilationens värmeförlust är värmeåtervinningens temperaturverkningsgrad vilken i dagens situation anses vara bra enligt mätningen på ett av ventilationsaggregaten. Temperaturverkningsgraden 82 % för tilluften och 81 % för frånluften, för ett av ventilationsaggregaten, innebär en väldimensionerad värmeåtervinning. Detta då tilluften och frånluften i stort sett uppnår samma temperaturverkningsgrad vilken i sig är hög. Laborativa mätningar på temperaturverkningsgraden för roterande värmeväxlare har uppnåtts till 85 % (Warfvinge och Dahlblom, 2010). Att uppdatera de roterande värmeväxlarna bedöms därför inte som en lönsam åtgärd.

En investering av tidkanalen för ventilationen är däremot en lönsam energieffektiviserande åtgärd, både ur värme- och elektricitetssynpunkt. Här avses en tidsstyrning som innebär att ventilationsaggregaten styrs via timrar som programmeras med drifttider motsvarande skolans verksamhetstider. På det sättet förbrukas varken fjärrvärme eller elkraft när ingen verksamhet pågår i skolan.

För att effektivisera belysningens energiförbrukning togs det hänsyn till åtgärderna dagsljusstyrning, närvarostyrning och tidsstyrning. Dagsljusstyrning innebär att solljuset utnyttjas för att upprätthålla en bra ljusstyrka i ett rum, på detta sätt kan belysningen dimmas av när det är stark solinstrålning. Närvarostyrning innebär att belysningen aktiveras med hjälp av rörelsesensorer när någon använder rummet. Med tidsstyrning avses en styrning på belysning i samtliga rum förutom toaletterna och fläktrummet (Belysningsbranchen 2013). För att mins-

ka transmissionsförlusterna är tilläggsisolering av vindsbjälklag en möjlig åtgärd. I dagsläget är vindsbjälklagets U-värde $0,195 \text{ W/m}^2\text{K}$ medan ett välisolerat tak har ett U-värde på $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Boverket 2015). Vid en isolering med mineralull krävs 10 cm tilläggsisolering för att uppnå ett sådant U-värde (Appelstål, Falk, Gustafsson, Hedlund m. fl. 2017). Tilläggsisolering av ytterväggar bedöms för hus byggda mellan åren 1976-1985 som en åtgärd som ej är aktuell att vidta och tas därför inte upp i rapporten. Ett annat sätt att minska transmissionsförlusterna är att byta nuvarande 2-glasfönsterna till energifönster. Ett energifönster har ett U-värde på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ eller lägre enligt Energimyndighetens definition (Dokus 2014). För Lundellska skolan rekommenderas 3-glasfönster med U-värde på $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ då detta är energieffektiva fönster som är vanliga på marknaden.

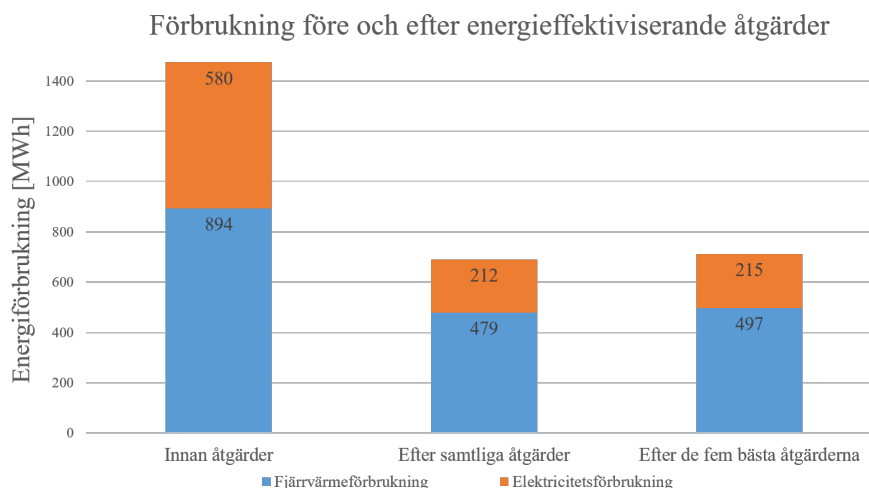
3.2.1 Sammanställning av åtgärder

Genom att implementera samtliga undersökta åtgärder, som visas i tabell 2, i Simulinkmodellerna erhöles den totala energibesparingen vara 784 MWh . Energibesparingen uppdelat i elkraft och fjärrvärme för respektive åtgärd redovisas i tabell 2.

Tabell 2: Simulerade åtgärder och dess årliga besparing av elkraft respektive fjärrvärme.

Åtgärd	Elkraftsbesparing [$\text{MWh}/\text{år}$]	Värmebesparing [$\text{MWh}/\text{år}$]
Dagsljusstyrning	105	0
Tidsstyrning belysning	116	0
Närvarostyrning	3	0
Tidkanal komfortkyla	44	0
Tidkanal ventilation	100	244
Takisolering	0	18
Fönsterbyte	0	154

Ur tabell 2 ses att dagsljusstyrning och tidsstyrning av belysning, tidkanal för komfortkyla och ventilation samt att byta ut fönstren till energifönster svarar mot de fem energieffektivaste åtgärderna. Att vidta dessa fem åtgärder skulle istället ge en energibesparing på $764 \text{ MWh}/\text{år}$. I figur 8 visas skolans normalårskorrigerade energiförbrukning för 2016 innan vidtagna åtgärder. Vidare ses hur energiförbrukningen skulle se ut efter samtliga respektive de fem mest energibesparande åtgärderna, se figur 8. Genom att implementera de fem mest energieffektiviserande åtgärderna skulle skolan ha en total energiförbrukning på 712 MWh eller $86 \text{ kWh}/\text{m}^2 A_{temp}$.



Figur 8: Energiförbrukning för Lundellska skolan.

3.3 Byggnadsintegrerade solceller

Litteraturstudien av alternativ till byggnadsapplicerade solceller på byggnadens tak (Skrealid och Cristina 2017) visade att det på den europeiska marknaden år 2015 fanns cirka 200 kommersiellt tillgängliga byggnadsintegrerade solcellslösningar, 108 av dessa finns listade i SUPSI och SEAC:s sammanställning *BIPV product overview SOLAR FAÇADES AND ROOFS* i rapporten BIPV status Report 2015 (Frontini m.fl. 2015). Lösningar finns för ett urval av taktyper, fasader, fall- samt solskydd. Kostnadsmässigt börjar byggnadsintegrerade solcellssystem (BIPV) och byggnadsapplicerade tillsammans med undertak i samma prisklass men BIPV-lösningars pris kan dra iväg om modulerna avviker betydligt från standardmodeller.

3.4 Solcellsdimensionering

Simuleringar gjordes med solceller placerade på ett, två respektive tre av byggnadens söderriktade tak, som ses i figur 3. På varje tak installerades 124 m^2 moduler som täcker majoriteten av den användbara takytan. Skuggornas påverkan kartlades och jämförs i tabell 3. Ifall träden tas bort ökar specifika produktionen⁴, med 10 %. Alla scenarier klarar sig under gränsen för att betala elcertifikat på egenproducerad elkraft (Stoltz 2017).

Tabell 3: Resultat från simuleringar i *PVsyst* (Stoltz 2017)

Placering av solceller	Tot. prod. [$MWh/år$]	Spec. prod. [kWh/kW_p]	Install. effekt [kW_p]
1 tak*	20	974	20,5
2 tak*	39,3	957	41
2 tak**	35,2	860	41
3 tak*	58,4	951	61
3 tak**	52,7	857	61
3 tak***	54,2	882	61

*utan skuggning **med skuggning ***utan träd på sydsidan

⁴Antal kWh som erhålls per installerad kW_p

3.5 Ekonomi

3.5.1 Elpris och Fjärrvärmepris

Det genomsnittliga elpriset beräknades till 1074 *SEK/MWh* (Gustafsson och Nordén 2017). Skolfastigheter AB har avtal med Vattenfall AB som distribuerar både elkraft och fjärrvärme till skolan. Priset för fjärrvärmen ligger på ca 703 *SEK/MWh* (Appelstål, Falk, Gustafsson och Nordén 2017).

3.5.2 Totalkostnader

Tabell 4 visar de simulerade resultaten för solcellsanläggningen. Då en matsal skall byggas strax söder om skolan antas träden söder om skolan tas bort. Detta ger det mest lönsamma förslaget, med bibehållen närmiljö, *tre tak utan träd på sydsidan*. Det kommer generera mest vinst, minska den inköpta elkraften med 15 % samt ha en återbetalningstid som ligger på samma nivå som resterande scenarier där träden är kvar. Att bygga på endast ett tak skulle ha kortast återbetalningstid, men den ekonomiska vinsten under solcellsanläggningens livslängd anses vara relativt låg. Om inte hänsyn behöver tas till att träden i närmiljön skall bevaras minskar återbetalningstiden med ett år och besparingarna per år ökar med 5000 *SEK*.

Tabell 4: Resultat från ekonomiska beräkningar i MATLAB (Stoltz 2017)

	Återbetalningstid [år]	Besparing per år [SEK]	Investering [SEK]	Andel**** [%]
Ett tak***	11.7	21 000	240 000	7
Två tak*	12.7	38 000	485 000	11
Två tak**	14.1	34 000	485 000	10
Tre tak*	13.1	55 000	720 000	16
Tre tak**	14.4	50 000	720 000	15
Tre tak***	14.2	51 000	720 000	15

*utan skuggning **med skuggning ***utan träd på sydsidan ****Egentäckningsgrad - Använd egenproducerad elkraft genom totala elanvändningen

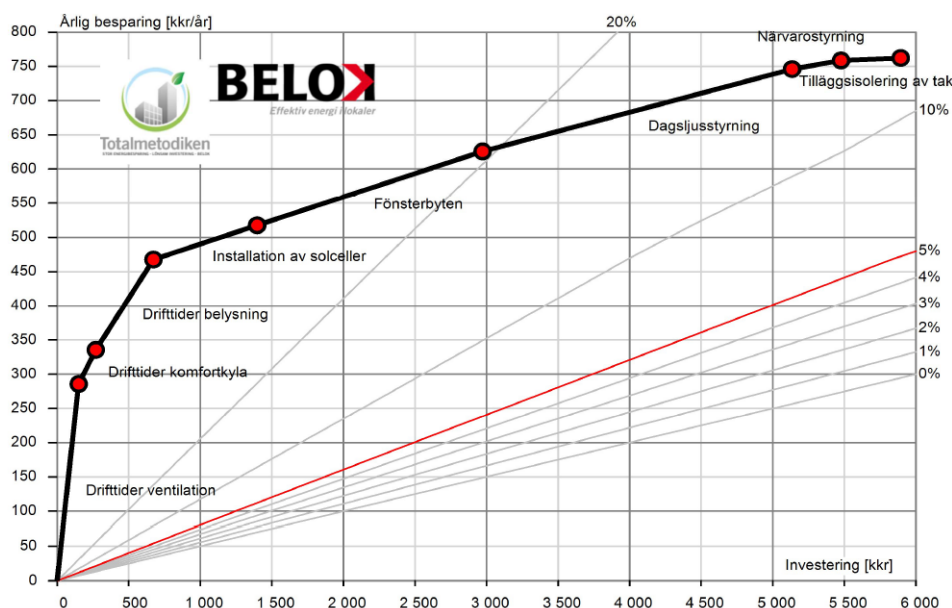
Ytligare en parameter som studerades var effekten av att använda all elkraft inom fastigheten, alternativt om elkraft kunde användas i en annan förbrukningspunkt ägt av samma juridiska person. I fallet *Tre tak utan träd på sydsidan* hade återbetalningstiden sänkts från 14.2 år till 11.5 år. I dagsläget skulle det dock innebära att den elkraften som används i en annan förbrukningspunkt skulle bli skattepliktig (Solelkommissionen 2017). En känslighetsanalys på MATLAB-modellen för solcellsanläggningen gjordes. Modellen var relativt okänslig för variationer i spotpris och elcertifikatpris. De faktorer som påverkade resultaten mest var förändring i produktion av elkraft och förändring i den totala elanvändningen. Ifall produktionen ändrades med $\pm 10\%$ påverkar både andelen egentäckningsgrad, återbetalningstiden och den årliga besparingen relativt linjärt. Däremot ändrades elanvändningen $\pm 10\%$ påverkades återbetalningstiden och årlig besparing marginellt. (Stoltz 2017).

Tabell 5: Investeringskostnader för de energieffektiviserande åtgärderna (Appelstål, Falk, Gustafsson och Nordén 2017), inklusive solcellsanläggningen. Med livslängd avses teknisk medellivslängd (Willis Towers Watson 2017). Med investeringskostnad menas materialinköp, installation och idrifttagande vilket därför står för en totalkostnad.

Åtgärd	Investering [SEK]	Livslängd [år]
Dagsljusstyrning	2163 000	20
Tidsstyrning belysning	402 500	20
Närvarostyrning	417 000	20
Tidkanal ventilation	150 000	20
Tidkanal komfortkyla	120 000	20
Takisolering	207 000	40
Fönsterbyte	1575 000	40
Solcellsanläggning	720 000	25 ^a

^a25 år är en solcellsmoduls medelgarantitid. teknisk medellivslängd är okänd.

För att värdera hur bra en åtgärd är sammanfattas åtgärderna i ett internräntediagram som kan ses i figur 9. Internränta är den ränta investeraren får tillbaka som utdelning varje år på sitt investerade kapital (Abel m. fl. 2016). Internräntediagrammet säger alltså hur mycket avkastning varje åtgärd ger tillbaka från sitt investerade kapital varje år. Desto större värde på vertikalaxeln grafen har desto större är avkastningen och desto högre värde på horisontalaxeln grafen har desto större är investeringen. Lutningen för varje åtgärd sammanfattar alltså hur bra varje åtgärd är. Desto högre lutningskoefficient desto bättre investering.



Figur 9: Internräntediagram för de energieffektiviserande åtgärderna för Lundellska skolan.

4 Diskussion

4.1 Datainsamling

En stor del av uppgifterna till energikartläggningen fick inhämtas på egen hand, detta bidrar med osäkerheter och bör därmed hanteras med försiktighet. Den egeninsamlade datan är inte ve-

rifierad, och därmed inte heller validerad, av någon myndighet eller annan legitim organisation. Den data som erhöles från externa källor, bl.a. OVK:n, energideklaration och förbrukningsdata från Skolfastigheter AB, anses vara pålitliga med grunden att de kommer från väl etablerade organisationer. Även klimatdata från SLU anses vara pålitlig. Även i de officiellt insamlade materialet kan innehåll fel och brister som bör kontrolleras. Förbrukningsdata för elkraften och fjärrvärme erhöles bara för två år, detta innebär att byggnadens faktiska energibehov kan säkerställas. Med hjälp av normalårskorrigerings kan fjärrvärmeförbrukningen korrigeras till ett mer allmängiltigt värde. För att se den utförda normalårskorrigeringen, se delrapport 2 (Appelstål, Falk, Gustafsson, Hedlund m. fl. 2017).

4.2 Energieffektivisering

Om samtliga undersökta energieffektiviserande åtgärder genomförs skulle energiförbrukningen nästan halveras, medan om de tre bästa åtgärderna genomförs skulle den minska med ungefär en tredjedel. Skillnaden i pris för att genomföra samtliga åtgärder är däremot betydligt högre än de mest effektiva åtgärderna. Då de fem bästa åtgärderna ur energisynpunkt verkställs skulle skolan ha en förbrukning på $86 \text{ kWh}/\text{m}^2 A_{temp}$, vilket enligt Boverkets definition motsvarar en energianvändningen för en nybyggd skola.

Av de undersökta effektiviserande åtgärderna visade sig drifttider vara de åtgärderna som hade bäst återbetalningstid. Dessa åtgärder utmärkte sig tydligt då de har en internränta strax under 70 % och låga investeringskostnader. Dessa investeringar borde därför rimligen vara värda att genomföra. Fönsterbyten och dagsljusstyrning visade sig också ha skaplig internränta men var betydligt dyrare åtgärder. Det kan däremot tilläggas att alla fönster inte behöver bytas samtidigt eller att alla rum lämpliga för dagsljusstyrning får det exakt samtidigt. På detta sätt går det att sprida ut investeringarna under en längre tid. Alternativt endast genomföra investeringarna vid strategiskt valda delar som exempelvis byta fönstren i söderläge eller installera dagsljusstyrning i ovanligt ljusa rum.

4.3 Validering

Validering av värmemodellen visade att modellen överensstämmer väl med verklig förbrukningsdata och totalt avvek simulering med enbart 6 % från verkligheten. Undantaget är månaderna maj och december där skillnaderna var relativt stora. En förklaring till det kan vara att fjärrvärmens egentligen styrs manuellt men modellen har antagit att det finns ett regler-systemet som är eftersträvar en inomhustemperatur på 21 °C.

Validering av modellen för elförbrukningen skedde genom en jämförelse med förbrukningsdata från år 2016. En avvikelse med 7 % kunde identifieras vilket betyder att modellen kan anses vara pålitlig.

För att validera produktionsdata från *PVsyst* undersöktes de olika specifika produktionerna och jämfördes med riktvärdet från Energimyndigheten. Resultatet för den specifika produktionen hos den rekommenderade anläggningen låg på $882 \text{ kWh}/\text{kW}_p/\text{år}$ och riktvärdet på $950 \text{ kWh}/\text{kW}_p/\text{år}$ (Energimyndigheten 2017c). Detta ansågs fortfarande vara ett bra resultat eftersom den rekommenderade anläggning låg till stor del i skuggade områden medan riktvärdet beräknades i oskuggade områden (Stoltz 2017).

4.4 Elpris

Siffrorna som användes var spotpris från år 2016 och elskatt från år 2017. Då siffrorna kommer från ett enskilt år och därmed inte är generella finns det en viss osäkerhet i elpriset. Ett spotprispåslag användes på 30 *SEK/MWh*. Det priset är taget ifrån gruppmedlemmars privata elräkningar. Elcertifikatpriserna kommer från år 2016 med elcertifikatskvot ifrån år 2017. Priset på elcertifikat har minskat varje år sedan år 2013 (Energimyndigheten 2017a). Mellan januari år 2016 och januari år 2017 har certifikatpriserna minskat från 161,08 *SEK/MWh* till 91,57 *SEK/MWh*. Däremot kommer elcertifikatskvoten öka fram till år 2019 och därefter kommer en sjunka fram till år 2035 varefter kvoten försvinner. Allt detta ger att de framtagna elpriset är osäkert och framförallt är det mycket svårt att ge en prognos över framtidens elpriser. Därför har endast det beräknade elpriset använts utan någon förändring över åren. Bixia menar att spotpriserna kommer att ligga strax över dagens nivåer om 20 år (Gustafsson och Nordén 2017).

4.5 Solcellsdimensionering

Anläggningens storlek har dimensionerats för att maximal effekt ska kunna tas ut utan att anläggningen blir kvotpliktig och därmed måste betala elcertifikat för egenproducerad elkraft. Detta skulle leda till att återbetalningstiden för anläggningen skulle öka och lönsamheten därmed minska. En mindre anläggning skulle kunna leda till snabbare återbetalningstid men den totala vinsten efter återbetalningstiden blir större med en större anläggning. Det finns takutrymme för en större solcellsanläggning och eftersom att priserna för elcertifikat rasat skulle det eventuellt vara relevant med en större anläggning när det ökade kostnaden vägs mot miljönyttan. Ifall en större anläggning installeras än rekommenderat i denna rapport skulle solcellerna behöver installeras på tak som inte ligger mot söder. De skulle därmed inte ha lika hög specifik produktion och förlänga återbetalningstiden för systemet.

5 Slutsats

Projektet har identifierat fem stycken energimässigt effektiva åtgärder samt dimensionerat en solcellsanläggning. Dessa åtgärder skulle innebära en investering på 5 miljoner kronor och skulle tillsammans spara 763 MWh. De 4 åtgärderna som i slutändan rekommenderas är drifttider för ventilation, drifttider för komfortkyla, drifttider för belysning samt installation av solcellsanläggning. För en investeringskostnad på 1,4 miljoner kronor skulle energiförbrukningen minska med 34 % samt bidra med en egenproduktion av elkraft från solcellsanläggningen ett genomsnittsår producera 54,2 *MWh/år*.

Då solcellsanläggning bedömdes vara en aktuell åtgärd har en utredning visat att en anläggning på 61 *kW_p* varit det mest lönsamma. Denna anläggning bör byggas ut på alla stora tak med lutning åt söder. För att nå optimal effekt bör skuggande träd i söderläge sågas ner.

Skulle dessa fyra åtgärder implementeras skulle den totala återbetalningstiden för åtgärds paketet landa på 3 år, om fönster och dagsljusstyrning också skulle implementeras skulle återbetalningstiden mer än dubblas. Dessa energibesparande åtgärder skulle förutom en minskad energipåverkan medföra att Skolfastigheter AB kan ansöka om Green Building Certifikat.

Referenser

- Abel, Enno, Lars Ekberg, Mari-Liis Maripuu, Per-Erik Nilsson och Mona Norbäck. 2016. *Totalmetodiken-Handbok för genomförande och kvalitetssäkring*. Teknisk rapport. CIT Energy Management AB. Version 1.5.
- Appelstål, Sophia, Wilma Falk, Anton Gustafson och Niklas Hedlund. 2017. *Delrapport 6 - Modellering av elektricitet och värme*. Teknisk rapport.
- Appelstål, Sophia, Wilma Falk, Anton Gustafsson, Niklas Hedlund, Tobias Klockare, J Skrealid och Simon Nordén. 2017. *Delrapport 2 - Energiträkkläggning*. Teknisk rapport.
- Appelstål, Sophia, Wilma Falk, Lovisa Gustafsson och Simon Nordén. 2017. *Delrapport 7 - Kostnadsanalys för energieffektiviserande åtgärde*. Teknisk rapport.
- Ardakani, Mikael. 2017. *Redovisningsansvarig, Skolfastigheter AB*. Intervju, 12 maj.
- Belysningsbranschen. 2013. "En ljusare framtid": 24. http://belysningsbranschen.se/files/2013/09/En-ljusare-framtid-2013-final_low1.pdf.
- Bixia. 2016. *Sjunkande elpriser fram till 2019 - enligt elbolaget Bixias långtidsprognos*. <https://www.bixia.se/om-bixia/press/nyheter/2016/new-page>.
- Boverket. 2015. "Boverkets byggregler, BBR". <http://www.boverket.se/globalassets/vagledningar/kunskapsbanken/bbr/bbr-22/bbr-avsnitt-9>.
- . 2016. *Boverkets Byggregler*. Teknisk rapport 157.
- Dokus. 2014. *Renovera fönster - allt du behöver veta! - Dokus Renoveringskalkyl*. <http://dokus.se/artiklar/renovera-fonster-allt-du-behoover-veta>.
- Energimyndigheten. 2016. *Elcertifikatsystemet är ett marknadsbaserat stödsystem. Läs mer om systemet här*. <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/elcertifikatsystemet/om-elcertifikatsystemet/>.
- . 2017a. *CESAR*. <https://cesar.energimyndigheten.se/WebPartPages/SummaryPage.aspx>.
- . 2017b. *Energiläget i Sverige*. <http://www.energimyndigheten.se/statistik/energilaget/>.
- . 2017c. *Solceller*. <http://www.energimyndigheten.se/fornybart/solenergi/solceller/>.
- Frontini, Francesco, Pierluigi Bonomo, Anatoli Chatzipanagi, Guus Verberne, Menno van den Donker, Kostas Sinapis och Wiep Folkerts. 2015. "BipV Status Report 2015": 1–12. http://www.seac.cc/fileadmin/seac/user/doc/SEAC-SUPSI_report_2015-_BIPV_product_overview_for_solar_facades_and_roofs_1_.pdf.
- Gustafsson, Lovisa, och Simon Nordén. 2017. *Delrapport 9 - Elpris*. Teknisk rapport.
- Landstinget, Uppsala Län. 1986. *Relationsritning Lundellska skolan*. Teknisk rapport.
- . 1999. *Översiktsritningar Lundellska skolan*. Teknisk rapport.
- Lindahl, Johan. 2016. "National survey report of PV power applications in Sweden 2015": 63. http://www.iea-pvps.org/index.php?id=93&eID=dam_frontend_push&docID=2678.
- Lingfors, David, och Joakim Widén. 2014. *Solenergipotentialen för Blekinges bebyggelse enligt två framtidsscenarier*. Teknisk rapport. Karlskrona: Institutionen för teknikvetenskap. www.lansstyrelsen.se/blekinge/publikationer.
- Lundin, Lars. 2017. *Administrativ chef, Lundellska skolan*. Intervju, 5 april.
- NordPool. 2017. *Nord Pool*. <http://www.nordpoolspot.com/>.
- SFS 2011:1200. Lag om elcertifikat.
- Skatteverket. 2017. *Skattesatser på bränslen och el under 2016*. <https://www.skatteverket.se/foretagochorganisationer/skatter/punktskatter/energiskatter/skattesatserochvaxelkurser.4.77dbcb041438070e0395e96.html>.
- Skolfastigheter AB. 2017. *Om Skolfastigheter*. <http://skolfastigheter.uppsala.se/Om-Skolfastigheter/>.
- Skrealid, Johan, och Stoltz Cristina. 2017. "Delrapport - Byggnadsintegrerade solceller": 1–6.

- Solelkommissionen. 2017. *Flytt av el – Solelkommissionen*. <http://www.solelkommissionen.se/flytt-av-el/>.
- Stoltz, Cristina. 2017. *Delrapport 10 - Dimensionering av solcellsanläggning*. Teknisk rapport. Uppsala.
- Sveby. 2017. *Sveby — Branchstandard för energi i byggnader*. <http://www.sveby.org/>.
- Sweden Green Building Council. 2017a. *GreenBuilding Certificate*. <https://www.sgbc.se/varverksamhet/greenbuilding>.
- . 2017b. *Om Sweden Green Building Council*. <https://www.sgbc.se/om-oss>.
- Warfvinge, Catarina, och Mats Dahlblom. 2010. *Projektering av VVS-installationer*. ca. 310. Lund: Studentlitteratur AB. ISBN: 978-91-44-05561-9.
- Vattenfall AB. *Sa fungerar fjarrvarme - Vattenfall*. <https://www.vattenfall.se/fjarrvarme/sa-fungerar-fjarrvarme/>.
- . 2017. *Solcellspaket & priser – en helhetslösning för ditt hus – Vattenfall*. <https://www.vattenfall.se/smarta-hem/solceller/solcellspaket/>.
- Willis Towers Watson. 2017. *Teknisk medellivslängd - Dolda fel*. <http://www.doldafel.se/teknisk-medellivslangd/>.

SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.slu.se/energioghteknik

SLU
Department of Energy and Technology
P. O. Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000